

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ  
СІКОРСЬКОГО»

**СТАХОВА АНЖЕЛІКА ПЕТРІВНА**

УДК 681.2:531.781:53.082.4(043.3)

**ПРИЛАДОВА СИСТЕМА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ  
НАПРУЖЕНЬ НА ОСНОВІ ЯВИЩА АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ**

05.11.01 – прилади та методи вимірювання механічних величин

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ - 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному авіаційному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Філоненко Сергій Федорович**,  
Національний авіаційний університет,  
директор навчально-наукового інституту  
інформаційно-діagnostичних систем.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент  
**Матіко Федір Дмитрович**,  
Національний університет  
«Львівська політехніка»,  
доцент кафедри теплотехніки, теплових  
і атомних електричних станцій;

кандидат технічних наук, доцент  
**Ігнатенко Павло Леонідович**,  
Чернігівський національний технологічний  
університет, доцент кафедри технологій  
машинобудування та деревообробки.

Захист відбудеться “09” червня 2017 р. о 15<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.07 при Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, проспект Перемоги, 37, корп. 1, ауд. 317.

З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, проспект Перемоги, 37.

Автореферат розісланий “28” квітня 2017 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Ю.В. Киричук

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** В сучасних умовах розвитку народного господарства актуальним є вимірювання механічних величин вузлів машин і механізмів для забезпечення якості та конкурентоспроможності продукції. Без впровадження швидкодіючих та високоточних приладових систем вимірювання механічних величин, неможливо підвищення якості промислової продукції. Однак, незважаючи на широкий спектр існуючих методів та засобів зростає потреба у розробці нових високоточних засобів вимірювальної техніки, методів та методик з використанням нових інформативних параметрів. Тому отримання достовірної інформації про параметри об'єкта по вимірюванню механічних величин є важливою задачею, що потребує не тільки вдосконалення існуючих, але й розробки нових методів та засобів в області вимірювання механічних величин.

При дослідженнях використовується широкий спектр методів вимірювання механічних величин, що дозволяють вимірювати основні характеристики, як поверхонь, що знаходяться в контакті, так і самого динамічного процесу. Однак їх інерційність до процесів, що протікають на субмікро- та мікрорівнях призводить до значних помилок у визначенні моменту виникнення та розвитку процесів, що ведуть до катастрофічного руйнування деталей. Існуючі методи та засоби вимірювання механічних величин можливо використовувати тільки в лабораторних умовах.

З точки зору дослідження стану об'єктів при механічних навантаженнях, особливо у виробничих умовах, необхідний розвиток методів вимірювання механічних величин, що несуть інформацію про фізичні процеси, які протікають на субмікро- та мікрорівнях. Одним з таких методів є метод акустичної емісії (АЕ).

Роботи з дослідження процесів при механічних навантаженнях, а також вивчення закономірностей руйнування твердих тіл з використанням методу АЕ проводяться в багатьох країнах світу. Результати досліджень з використанням АЕ торкаються, як теоретичних розробок, так і прикладних досліджень процесів, при контактній взаємодії твердих тіл. Результати досліджень показали високу чутливість методу та дозволили визначити загальні впливи фізико-механічних характеристик матеріалів об'єкту та режимів роботи фрикційного вузла з використанням методів вимірювання механічних величин на основі зміни параметрів зареєстрованих сигналів АЕ. Разом з тим, складність процесів, що протікають в поверхневих шарах матеріалів, відсутність адекватних математичних моделей формування акустичного випромінювання, відсутність обґрунтованих інформативних параметрів, закономірностей їх зміни, методик вимірювання механічних величин, а також обробки інформації обмежує практичне використання методу АЕ в дослідженні стану об'єктів. В першу чергу, це стосується виробничих умов їх експлуатації.

Це вимагає розвитку методу вимірювання механічних величин на базі параметрів сигналів АЕ з розробкою теоретичних підходів до інтерпретації реєстрованої інформації, методів її обробки, методів та систем.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Основний зміст роботи складають результати наукових розробок та експериментальних досліджень, які проводилися на кафедрі інформаційних технологій Національного авіаційного університету. Дисертаційна робота проводилася відповідно до науково-дослідних держбюджетних робіт за темами: 301-ДБ06 (№0106U004132), де автор була виконавцем розділів 1, 3; 593-ДБ09 (№0106U000691) етап I, де автор була виконавцем підрозділів 1.2, 1.3 та етап II, де автор була виконавцем підрозділів 1.1, 1.2, 1.3, 1.5.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є розробка методу вимірювання параметрів механічних напружень, апаратних та програмних засобів приладової акусто-емісійної системи. Для досягнення зазначеної мети в роботі поставлені та вирішені наступні задачі:

1. Розробити модель результуючого сигналу АЕ, що формується при механічних навантаженнях поверхневих шарів твердих тіл.
2. Провести моделювання результуючого сигналу АЕ на стадії нормального зношування з урахуванням зміни впливаючих факторів (навантаження, швидкість обертання фрикційного вузла та інших) та переважаючих механізмів зношування.
3. Провести моделювання результуючого сигналу АЕ при переході від стадії нормального до стадії катастрофічного зношування з урахуванням зміни впливаючих факторів та механізмів зношування. Визначити основні закономірності зміни параметрів результуючого сигналу АЕ.
4. Встановити експериментальні закономірності зміни параметрів результуючого сигналу АЕ при механічних навантаженнях поверхневих шарів матеріалів та зміні умов взаємодії поверхонь контакту.
5. Розробити концепцію побудови, технічні та програмні засоби приладової системи збору, обробки, аналізу АЕ інформації та виводу її результатів, а також метод діагностики об'єктів.

*Об'єкт дослідження* – процес вимірювання механічних величин на базі явища акустичної емісії при механічному навантаженні поверхневих шарів матеріалів.

*Предмет дослідження* – приладова система вимірювання механічних напружень з підвищенням точності на базі акусто-емісійного методу.

**Методи дослідження.** Проведені дослідження базуються на сучасних методах цифрової обробки сигналів (для розділу 3), методах математичного аналізу інформації з використанням комп'ютерної техніки (для розділів 2, 4), сучасних комп'ютерних технологіях (для розділу 4), матеріалознавства та натурних експериментах (для розділу 2, 3).

**Наукова новизна одержаних результатів.** В роботі отримані наступні наукові результати:

1. Вперше розроблена модель результуючого сигналу АЕ, що формується при механічних навантаженнях поверхневих шарів матеріалів, в основі якої лежать сучасні уявлення про руйнування вторинних структур І та ІІ типів.

2. Вперше встановлено, що на стадії нормального зношування форма та параметри результуючого сигналу АЕ залежать від часу початку руйнування вторинних структур І та ІІ типів та напружено-деформованого стану поверхонь контакту. При цьому із зменшенням часу початку руйнування вторинних структур відбувається стиснення результуючого сигналу АЕ в часі, а зростання напружено-деформованого стану призводить до збільшення розкиду його амплітуди.

3. Встановлено, що при заданому напружено-деформованому стані на стадії нормального зношування залежність зміни середнього рівня амплітуди результуючого сигналу АЕ в часі описується лінійною функцією, а при переході до стадії катастрофічного зношування і, як наслідок, зростання напруги та деформації, залежність зміни середнього рівня амплітуди результуючого сигналу АЕ в часі описується степеневою функцією, значення показника якої залежить від швидкості зростання зносу.

4. Теоретично обґрунтовано, що при зростанні об'єму матеріалу, який вступив в пластичну деформацію та площі локальних руйнувань, відбувається зростання амплітуди результуючого сигналу АЕ та зменшення величини її розкиду і, як наслідок, зростання показника степеню апроксимуючого виразу.

5. Вперше розроблено метод вимірювання контактних напружень, в основі якого лежить встановлений взаємозв'язок контактних напружень з середнім рівнем амплітуди результуючого сигналу АЕ, що дозволяє визначати та проводити моніторинг контактних напружень.

#### **Практичне значення одержаних результатів:**

1. Розроблена методика, що забезпечує можливість проведення короточасних та тривалих досліджень деталей з вимірюванням контактного навантаження.

2. Створена приладова система та програмний математичний комплекс для збору, зберігання, оперативної обробки та виводу результатів аналізу сигналів АЕ при механічному навантаженні поверхневих шарів матеріалів.

3. Розроблена методика та програмне забезпечення, що дозволяє проводити автоматичне калібрування приладової акусто-емісійної системи.

4. Розроблено спосіб визначення контактного навантаження в момент виникнення заїдання в умовах експлуатації.

Результати проведених досліджень, методика, мобільна система, програмний математичний комплекс використовуються на ТОВ "Український кардан" (Акт впровадження від 26.05.2016 р.), при проведенні наукових досліджень в Національному авіаційному університеті (Акт

впровадження від 05.12.2016 р.), підготовці магістрів в галузі інформаційно-вимірювальних та діагностичних систем.

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. В роботах в співавторстві дисертантом отримані наступні результати: [1, 6] – проведено математичний опис сигналів АЕ, які формуються при руйнуванні вторинних структур I та II типу, а також закономірності зміни їх параметрів; [2, 3, 4] – результати моделювання сигналів АЕ при нормальному зношуванні поверхневих шарів матеріалів з урахуванням впливових факторів, а також при переході від стадії нормального до стадії катастрофічного зношування та при зміні об'єму матеріалу, що вступив в пластичну деформацію; [5] – розроблена концепція побудови АЕ системи з розподіленою нарощуваною структурою, а також алгоритми її роботи.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати дисертаційної роботи докладалися та обговорювалися на міжнародних та республіканських симпозиумах, конференціях та семінарах, в тому числі: VII - X Міжнародна наукова конференція студентів та молодих учених “Політ-2007, 2008, 2009, 2010” (Київ, 2007 – 2010 рр.), VIII Міжнародна науково-технічна конференція “Автоматизация, технология и качество в машиностроении” (Донецьк, 2007 р.), II Міжнародна науково-технічна конференція “Моделирование в электротехнике, электронике и светотехнике” (Київ, 2007 р.), I Науково-практична конференція молодих учених та аспірантів “Інтегровані інформаційні технології та системи” (Київ, 2007 р.), I-IV Міжнародна науково-практична конференція “Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси (ІРТК-2008, 2009, 2010, 2011)” (Київ, 2008-2011 рр.), Міжнародний конгрес “AVIATION IN THE XXI-st CENTURY” (Київ, 2008, 2010 р.), Міжвідомча науково-практична конференція “Сучасні проблеми захисту інформації з проблемним доступом” (Київ, 2008 р.), науково-практична конференція “Актуальні проблеми розвитку авіаційної техніки” (Київ, 2009 р.), Міжнародна науково-технічна конференція “ABIA-2009, 2011” (Київ, 2009, 2011), Науково-технічна конференція студентів і молодих учених “Наукоємні технології” (Київ, 2011 р.), Міжнародна науково-практична конференція “Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем” (Чернігів, 2011, 2016 рр.), 5-та науково-практична конференція студентів і молодих учених “Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання” (Івано-Франківськ, 2015 р.), а також наукових семінарах НАУ в 2006-2016 рр.

**Публікації.** По темі дисертації опубліковано 20 наукових робіт, в тому числі: 12 у провідних фахових науково-технічних виданнях, із яких 2 в іноземних виданнях, а 1 у вітчизняному виданні, що входить до міжнародних наукометричних баз та 7 в матеріалах конференцій і 1 патент України на корисну модель.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, основних висновків по роботі, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 166 сторінок, в тому числі 62 рисунків, 3 таблиці та 2 додатки. Список використаних джерел містить 160 найменувань на 17 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульована мета та задачі дослідження, визначені новизна та практична цінність, викладені основні положення, що виносяться на захист, відомості про апробацію та публікацію основних результатів роботи, показана структура та її об'єм.

В першому розділі викладені основні літературні дані про вимірювання механічних величин, явище та метод АЕ, способи аналізу, фактори, які впливають на АЕ.

Розглянуто основні терміни, визначення та параметри сигналів АЕ. Аналізуються основні концепції побудови АЕ систем та особливості виявлення та обробки реєстрованих сигналів.

Дослідженням цих питань присвячені праці багатьох вітчизняних та закордонних авторів. Проведений аналіз стану задачі показав, що в літературних джерелах відсутні адекватні математичні моделі формування акустичного випромінення, обгрунтовані інформативні параметри, закономірності їх зміни, методики обробки інформації, що обмежує практичне використання методу АЕ при вимірюванні МВ. Існує ряд недостатньо вирішених питань, що свідчить про обмежений характер існуючих наукових досліджень та не дозволяє вирішити актуальну задачу отримання своєчасної інформації про параметри об'єктів при механічному навантаженні, в першу чергу, в промислових умовах експлуатації.

Зроблено висновок, що існуючі уявлення про метод АЕ та системи не дозволяють у повній мірі вирішити задачу їх вимірювання з достатньою достовірністю. Цю задачу можна вирішити лише на основі використання та подальшого розвитку методу АЕ та засобів, з розробкою теоретичних підходів до інтерпретації зареєстрованої інформації, методів її обробки, методів та систем діагностики об'єктів. Таким чином аналіз дозволив сформулювати наведені вище мету та задачі дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячено розробці математичної моделі та моделюванню результуючого сигналу АЕ при утворенні тріщин та протіканні пластичної деформації з вимірюванням МВ.

При побудові моделі результуючого сигналу АЕ показано, що спільне існування вторинних структур I і II типів, які руйнуються послідовно в площині контакту з досить малими проміжками часу, а також наявність динамічного перемішуваного навантаження, при зміні площин фрикційного контакту призводить до того, що імпульсні сигнали АЕ перекриватимуться

не лише в площині контакту, але і при переході від однієї площини до іншої площини. Це означає, що із зменшенням часу виникнення руйнувань вторинних структур I і II типів і неперервності даного процесу в часі відбувається перехід від результуючого імпульсного до результуючого неперервного сигналу АЕ.

Відповідно до сказаного, математичну модель результуючого сигналу АЕ можна представити у вигляді суми імпульсних сигналів, що виникають у випадкові моменти часу при руйнуванні вторинних структур I і II типів

$$U'(t) = \sum_i U_0 \delta_0 \sigma_{0e}^3 e^{4z(t-t_i)} e^{-b\sigma_{0e} \cdot e^{z(t-t_i)}} + \sum_j U_{0d} \varepsilon_{0d} e^{r(t-t_j)} e^{-B\varepsilon_{0d} \cdot e^{r(t-t_j)}}, \quad (1)$$

де  $U_0 = kN_0cz$  - максимально можливе зміщення при руйнуванні без дисперсного по міцності поверхневого шару  $S_T$  матеріалу;  $k$  - коефіцієнт пропорційності;  $N_0$  - кількість елементарних об'ємів в області неоднорідності  $S_T$ ;  $c$ ,  $b$  - коефіцієнти розподілу елементарних об'ємів по міцності (залежать від фізико-механічних характеристик матеріалу);

$\delta_0 = \int_{t-\delta_0/2}^{t+\delta_0/2} a(\tau) d\tau$  - середня тривалість збурення при руйнуванні елементарного

об'єму;  $a(\tau)$  - функція, яка визначає форму одиночного імпульсу збурення;  $\sigma_{0e}$  - початкові еквівалентні напруги на етапі нормального зношування;  $z = E/\xi$ ;  $\xi$  - коефіцієнт в'язкості;  $E$  - модуль щільності;  $t$  - час ( $t_i$ ,  $t_j$  - випадкові моменти часу появи сигналів АЕ); амплітуда зміщення, яка залежить від фізико-механічних характеристик матеріалу

$$U_{0d} = a_0 M \frac{v_d}{\ell_0} \delta_d, \quad (2)$$

де  $a_0$  - амплітуда імпульсу одиночного збурення при русі дислокації (постійна і не залежить від деформації);  $\ell_0$  - відстань між двома актами випромінювання одиночної дислокації;  $v_d$  - середня швидкість руху

дислокацій (вважається постійною);  $\delta_d = \int_{t-\delta_d/2}^{t+\delta_d/2} a_1(\tau) d\tau$  - середня тривалість

імпульсу збурення;  $a_1(\tau)$  - функція, яка визначає форму імпульсу збурення (є незмінною);  $\varepsilon_{0d}$  - початкова відносна деформація;  $M$ ,  $B$ ,  $r$  - постійні параметри (залежать від фізико-механічних характеристик матеріалів).

З моделі (1) встановлено, що за прийнятих початкових умов результуючий сигнал АЕ визначається початковим напружено-деформованим станом ( $\sigma_{0e}$ ,  $\varepsilon_{0d}$ ) і часом початку руйнування вторинних структур I і II типів ( $t_i$ ,  $t_j$ ).

Уперше проведено моделювання результуючого сигналу АЕ, відповідно з (1), з врахуванням початкового напружено-деформованого



стану і часу початку руйнування вторинних структур I і II типу. Приклади результатів моделювання у вигляді графіків зміни  $\tilde{U}(t) = U'(t)/U_{\max}$  у відносних одиницях показані на рис.1 і рис.2. Час нормований на термін дії навантаження на пару тертя, що складає  $t_{\max} \cdot (\tilde{t}_{\text{відн.од.}} - \text{нормоване значення на } t_{\max} = \text{const}, \tilde{U}_{\text{відн.од.}} - \text{нормоване значення на } U_{\max})$ . Параметри  $\sigma_{0e}$ ,  $\varepsilon_{0d}$  приведені до безрозмірних величин, значення  $b=B=10$ .

Експерименти здійснювались в два етапи. На першому етапі було прийнято  $\sigma_{0e} = 17$ ,  $\varepsilon_{0d} = 17$ . При цьому результуючий сигнал, згідно (1), формувався при послідовній зміні руйнування структур I і II типів по деякому обраному сценарію, який зберігався незмінним у подальшому. Крок часу початку руйнування кожної наступної структури змінювався від  $7 \cdot 10^{-4}$  до  $1 \cdot 10^{-5}$  відносних одиниць.

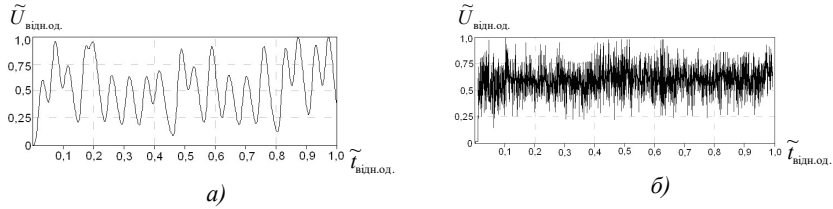


Рис.1. Форми сигналів АЕ на етапі нормального зносу при різних початкових часах руйнування вторинних структур I і II типів. Крок часу початку руйнування кожної наступної структури I або II типу у відносних одиницях: а) 0,0007; б) 0,00001

На другому етапі крок часу початку руйнування кожної наступної структури I або II типу складав  $1 \cdot 10^{-5}$  відносних одиниць. Значення  $\sigma_{0e}$  і  $\varepsilon_{0d}$  змінювалися від 11 до 17 відносних одиниць.

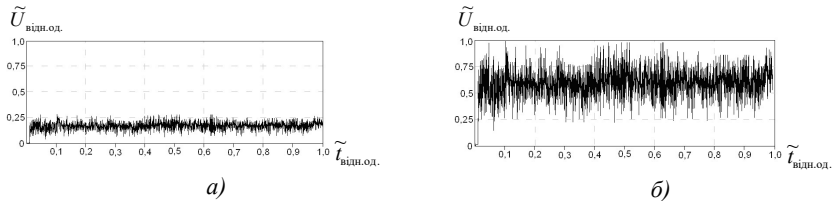


Рис.2. Форми сигналів АЕ на етапі нормального зносу при руйнуванні вторинних структур I і II типів: а)  $\sigma_{0e}=11$ ;  $\varepsilon_{0d}=11$ ; б)  $\sigma_{0e}=17$ ;  $\varepsilon_{0d}=17$

З отриманих результатів визначено (рис.1, рис.2), що при постійному значенні початкових напруг і деформацій на етапі нормального зносу зменшення часу між початком руйнування вторинних структур I і II типів приводить до стиснення сигналу АЕ в часі та його трансформації в сигнал гребінчастої форми. Показано, що при постійній швидкості обертання фрикційного вузла збільшення початкових напруг і деформацій на етапі нормального зносу призводить до збільшення середнього рівня результуючого сигналу АЕ і також до збільшення розкиду його амплітуди.

Відомо, що в процесі роботи пари тертя стадія нормального зношування переходить в стадію катастрофічного зношування. При цьому відбувається зростання інтенсивності зношування  $dH/dL_T \neq const$  та інтенсивність зношування в часі або від довжини шляху тертя зростає з прискоренням до виходу фрикційного вузла з робочого стану. Збільшення зношування за інших рівних умов, супроводжується зростанням напружено-деформованого стану деталей і механізмів.

Проведено моделювання результуючих сигналів АЕ, згідно (1), при переході від стадії нормального до стадії катастрофічного зношування. При збільшенні зносу відбувається руйнування вторинних структур I і II типу з поступовим зростанням напружено-деформованого стану. Моделювання проводилося із заданими часовими проміжками ( $4 \cdot 10^{-3}$  у відносних одиницях). З використанням програмних засобів Origin була проведена обробка та аналіз отриманих результатів, які показали, що загальна залежність зміни середньої амплітуди результуючого сигналу АЕ у відносних одиницях описується виразом виду (рис.3)

$$\tilde{U}_{\text{відн.од.}} = G t^W, \quad (3)$$

при значеннях  $G = 0,3$  і  $W = 3,1$ .

При виконанні обчислень для побудови усереднених апроксимуючих залежностей був врахований і розкид за амплітудою результуючого сигналу АЕ. Отримані результати показали, що середня амплітуда результуючого сигналу АЕ на стадії нормального зношування описується лінійною залежністю.

В той же час залежність зміни середньої амплітуди результуючого сигналу АЕ

при переході до стадії катастрофічного зношування описується вже степеневою функцією. Показано, що від швидкості розвитку процесу або інтенсивності зношування залежить показник степені ( $W$ ) апроксимуючого виразу. Чим вище інтенсивність зношування, тим більше значення показника степені  $W$ .

Встановлено, що на стадії катастрофічного зношування зростання напруг і деформацій, за інших рівних умов, може бути обумовлено

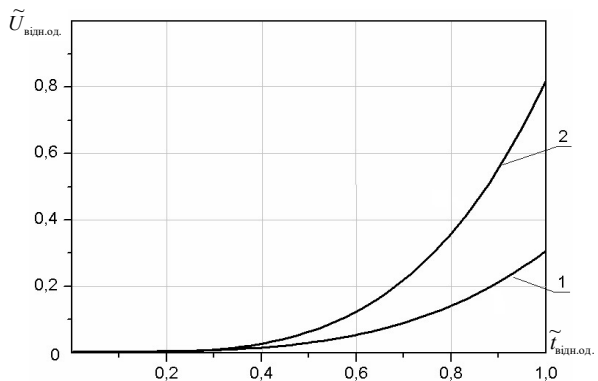


Рис.3. Залежності зміни усередненої амплітуди результуючих сигналів АЕ: 1 - для сигналу, при переході від стадії нормального до стадії катастрофічного зношування; 2 - для сигналу, при різкішому зростанні напружено-деформованого стану

збільшенням об'єму матеріалу, що вступив в пластичну деформацію. Стає цікава, пластична деформація оскільки зростання та утворення макротріщин, може призводити до миттєвого виходу фрикційного вузла з експлуатації.

Проведено моделювання результуючих сигналів АЕ на стадії нормального і катастрофічного зношування за умови зміни, як напружено-деформованого стану ( $\sigma_{0e}$ ,  $\varepsilon_{0d}$ ), так і об'єму матеріалу ( $V_D$ ) що вступив в пластичну деформацію, відповідно до виразу (1). При цьому для сигналу АЕ, що формується при руйнуванні вторинних структур І типу, амплітуда зсуву залежна від фізико-механічних характеристик матеріалу і описується виразом виду (2). Максимальна щільність рухомих дислокацій визначається об'ємом матеріалу ( $V_D$ ), що вступив в пластичну деформацію, тобто  $M \sim V_D$ . Звідси випливає, чим більше об'єм матеріалу, що вступає в пластичну деформацію, тим більше амплітуда сигналу АЕ.

Результати моделювання результуючих сигналів АЕ, за заданих умов, показані на рис.4, а та рис. 5, а. При цьому (рис.4, а) вважалося, що об'єм матеріалу, що вступив в пластичну деформацію  $V_D=1$  у безрозмірних величинах, а у другому випадку (рис.5, а) – значення об'єму матеріалу  $V_D$  поступово зростає від 1 до 20 в безрозмірних величинах.

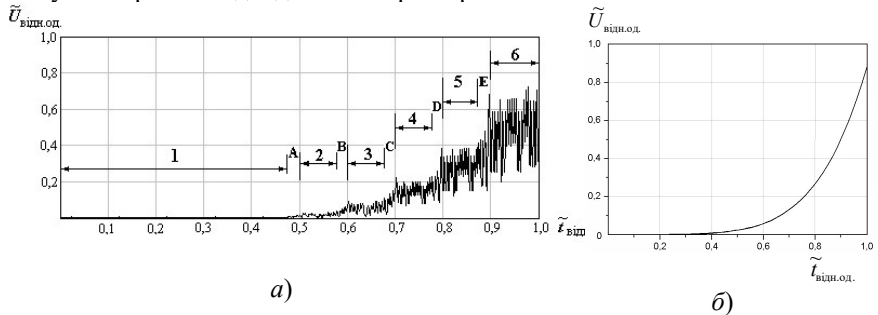


Рис.4. а) Результовий сигнал АЕ на стадії нормального і катастрофічного зношування при руйнуванні структур І і ІІ типу: 1 - стадія нормального зношування; 2-6 - стадія катастрофічного зношування.  $\sigma_{0e}$  і  $\varepsilon_{0d}$ : 1) -  $\sigma_{0e}=1$ ,  $\varepsilon_{0d}=1$ ; 2) -  $\sigma_{0e}=2$ ,  $\varepsilon_{0d}=2$ ; 3) -  $\sigma_{0e}=3$ ,  $\varepsilon_{0d}=3$ ; 4) -  $\sigma_{0e}=4$ ,  $\varepsilon_{0d}=4$ ; 5) -  $\sigma_{0e}=5$ ,  $\varepsilon_{0d}=5$ ; 6) -  $\sigma_{0e}=6$ ,  $\varepsilon_{0d}=6$ ; б) Залежність зміни усередненої амплітуди змодельованого результуючого сигналу АЕ

На рис. 4 та рис. 5 введені позначення: А, В, С, D, Е – ділянки плавного наростання напруг і деформацій. З використанням програмних математичних засобів Origin проведено обробку і аналіз отриманих результатів (рис.4, а, рис.5, а), які показали, що загальна залежність зміни середньої амплітуди результуючого сигналу АЕ (криві рис. 4, б та рис.5, б) описується виразом виду (3), де для сигналу на рис.4  $G=0,58$  і  $W=4,3$ , а для сигналу на рис.5  $G=0,88$  і  $W=5,3$ .

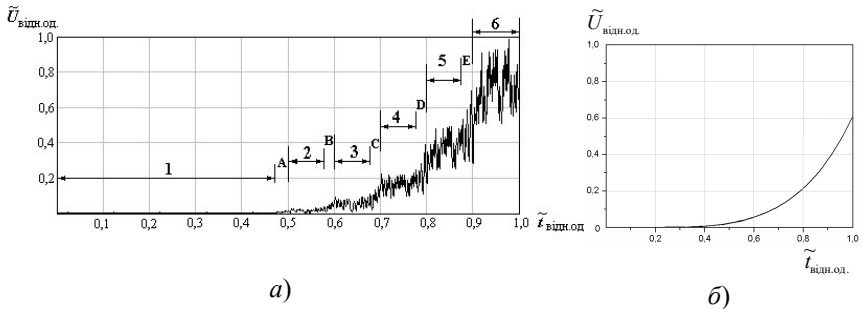


Рис.5. а) Результовий сигнал АЕ на стадії нормального і катастрофічного зношування при руйнуванні вторинних структур І і ІІ типа: 1 - стадія нормального зношування; 2 - 6 - стадія катастрофічного зношування. Значення  $\sigma_{0e}$  і  $\varepsilon_{0d}$ : 1) -  $\sigma_{0e}=1$ ,  $\varepsilon_{0d}=1$ ; 2) -  $\sigma_{0e}=2$ ,  $\varepsilon_{0d}=2$ ; 3) -  $\sigma_{0e}=3$ ,  $\varepsilon_{0d}=3$ ; 4) -  $\sigma_{0e}=4$ ,  $\varepsilon_{0d}=4$ ; 5) -  $\sigma_{0e}=5$ ,  $\varepsilon_{0d}=5$ ; 6) -  $\sigma_{0e}=6$ ,  $\varepsilon_{0d}=6$ . Об'єм матеріалу, що вступив в пластичну деформацію: етапи 1, 2 і 3 -  $V_D=1$ ; етап 4 -  $V_D=3$ ; етап 5 -  $V_D=10$ ; етап 6 -  $V_D=20$ ; б) Залежність зміни усередненої амплітуди змодельованого результового сигналу АЕ

Обґрунтовано, що збільшення об'єму матеріалу, який вступив в пластичну деформацію на стадії катастрофічного зношування, призводить до зростання амплітуди сигналів АЕ при руйнуванні вторинних структур І типа. При заданому напружено-деформованому стані це призводить до різкого зростання амплітуди результового сигналу, а також зменшенню її розкиду. Показано що наслідком цього є різке зростання кінетичної закономірності зміни середньої амплітуди результового сигналу і зростання показника степені її апроксимуючої функції.

Встановлено, що в процесі роботи фрикційного вузла можливо здійснювати вимірювання параметрів процесів, що розвиваються в поверхневих шарах матеріалів або проводити оцінки переважаючих механізмів зношування. Зростання середньої амплітуди результового сигналу АЕ із збільшенням її розкиду свідчить про переважне руйнування вторинних структур ІІ типа, а зростання середньої амплітуди із зменшенням її розкиду свідчить про збільшення об'єму матеріалу що вступив в пластичну деформацію, при руйнуванні вторинних структур І типа.

**В третьому розділі** представлені результати експериментальних дослідження сигналів АЕ, які дозволили встановити основні закономірності зміни параметрів результових сигналів АЕ. Приведені результати практичного використання методу для досліджень і випробувань фрикційних вузлів, показали добре узгодження з результатами теоретичних досліджень.

Експериментальні дослідження сигналів АЕ проводили з використанням універсальної машини тертя типу СМТ-1. Була розроблена методика для проведення випробувань. У відповідності з методикою

проводилася реєстрація, обробка і аналіз інформації про сигнали АЕ, а також момент тертя. Як і у випадку моделювання результуючого сигналу АЕ, при проведенні експериментів досліджували вплив двох складових на реєстровані сигнали АЕ: часова складова, яка задавалася швидкістю обертання зразка пари тертя і зовнішнє навантаження, яке визначало напружено-деформований стан поверхонь контактної взаємодії.

Результати експериментальних досліджень показали, що на етапі нормального зносу збільшення швидкості обертання пари тертя при постійному значенні початкових напруг і деформацій, призводить до стиснення сигналу АЕ в часі. При сталій швидкості обертання пари тертя збільшення початкових напруг і деформацій призводить до збільшення середнього рівня результуючого сигналу АЕ, а також до збільшення розкиду його амплітуди.

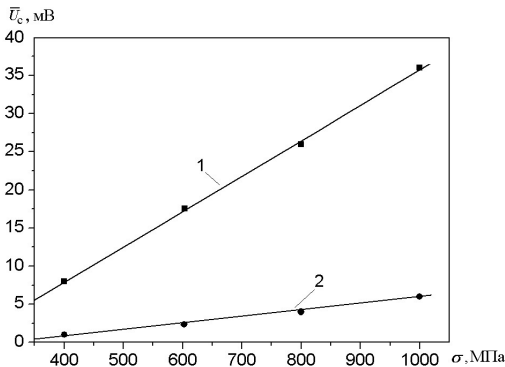


Рис. 6. Залежність зміни середньої амплітуди результуючого сигналу АЕ 1 і сигналу на виході тензодатчика 2 від контактних напруг

Аналіз отриманих результатів показав, що експериментальна залежність зміни середньої амплітуди результуючого сигналу АЕ від контактних напруг носить лінійний характер (крива 1, рис. 6). Результати обробки напруги на виході тензодатчика у вигляді залежності її зміни від контактних напруг приведені на рис. 6, крива 2. Залежність подібна до залежності, отриманої для середньої амплітуди результуючого сигналу АЕ (крива 1, рис. 6).

Вона також описується лінійною функцією.

Встановлено, що чутливість зміни напруги на виході тензодатчика до контактних напруг і розрізнявальна здатність, в 6 разів менше, ніж чутливість по сигналах АЕ.

Отримані експериментальні залежності зміни усередненої амплітуди результуючого сигналу АЕ, дозволили визначати контактні напруги, що виникають в парі тертя. Для визначення контактної напруги в момент виникнення заїдання вузла тертя були проведені експериментальні дослідження. Здійснювалася реалізація режиму з безперервним збільшенням навантаження на пару тертя після її припрацювання. В процесі збільшення навантаження проводилася реєстрація і обробка сигналів з виходу тензодатчика і сигналів АЕ. Результати проведених досліджень, у вигляді залежностей зміни контактних напружень в часі, показані на рис. 7 а), б), відповідно, при обробці сигналів з виходу тензодатчиків і середньої

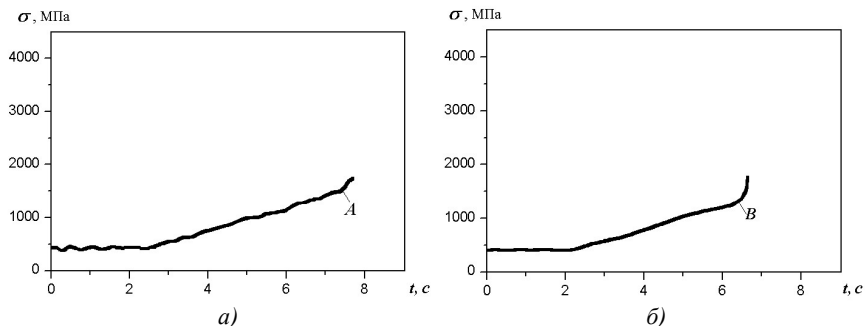


Рис.7. Залежності зміни контактних напруг в часі, отримані при обробці сигналів

амплітуди сигналів АЕ (А і В - точки визначення контактних напружень у момент часу виникнення заїдання).

Результати показали, що залежність зміни контактної напруги в часі, отримана з використанням тензодатчика носить порізаний характер (рис.8, а), тоді як, визначена по результуючому сигналу АЕ носить більш рівний характер (рис.7, б). За результатами обробки видно, що за часом контактна напруга заїдання фрикційного вузла при обробці результуючого сигналу АЕ визначається на 15% раніше, ніж при обробці сигналу з виходу тензодатчика, тобто на початковій стадії його виникнення. При цьому значення контактної напруги по сигналах АЕ визначається на 10% точніше, ніж по сигналах з тензодатчика.

**Четвертий розділ** присвячено розгляду приладової АЕ системи, розподілені структури якої визначаються вирішуваними завданнями. Показано, що використання засобів технології LabCard дозволяє проводити перерозподіл функцій між апаратними і програмними засобами системи. Мінімізація електронних засобів з жорсткою апаратною реалізацією первинної обробки інформації і пріоритет гнучких програмних засобів дозволяє формувати єдині структури управління системи, обробки і аналізу реєстрованої інформації.

Технологія LabCard базується на використанні середовища Borland C, інструментальні засоби, що використовуються - порти вводу-виходу (ПВВ) аналогової і цифрової інформації. Вони розташовуються на шині персонального комп'ютера (ПК). Програмне управління пристроями ПВВ і ПК дозволяє будувати приладові системи. Пріоритетність програмного забезпечення і базових елементів приладової системи (ПК і ПВВ) забезпечує мінімізацію зовнішніх засобів, що не входять в структуру ПК. Структура концептуальної частини приладової системи представлена на рис.8.

При навантаженні матеріалів, випробування на тертя можуть бути, як короткочасними, так і тривалими. При загальному підході до перетворення вхідного процесу в цифрові коди, відмінність в тривалості випробувань і процесах випромінювання сигналів вимагає використання різних принципів зберігання сигналів АЕ і методів їх обробки.

Показано, що при короткочасних випробуваннях відбувається фізичне запам'ятовування інформації, при тривалих випробуваннях обробка сигналів АЕ повинна здійснюватися безпосередньо в процесі реєстрації інформації (рис.9).

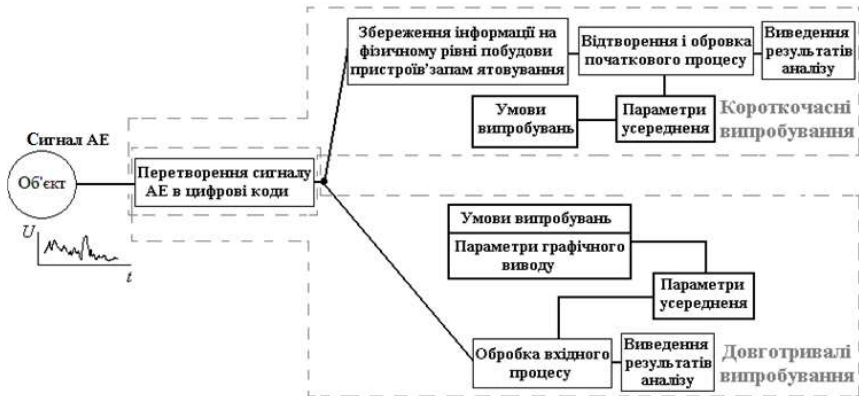


Рис.8. Структура концептуальної частини приладових АЕ систем

Запропоновано спільну структуру АЕ системи для короткочасних і довготривалих випробувань пар тертя (рис.9). Електронна частина АЕ системи призначена для перетворення датчиком АЕ пружних зсувів, що виникають в поверхневих шарах матеріалів, в електричний сигнал, а також посилення сигналів з виходу датчика підсилювачем сигналів АЕ для проведення їх подальшої обробки. Друга частина системи призначена для перетворення сигналів АЕ в цифрові коди, проведення їх обробки і представлення результатів аналізу.

Розроблена внутрішня частина приладової системи (рис.9), складається з ПВВ і пристроїв ПК. З рис.9 видно відмінність реалізації концепції побудови системи. У системі для короткочасних випробувань (рис.9, а) використовується накопичувач даних, призначений для зберігання інформації на фізичному рівні. У системі для проведення довготривалих випробувань (рис.9, б) здійснюється безпосередня обробка вхідної інформації з виводом результатів на екран монітора.

Керування режимами роботи усіх елементів внутрішньої частини систем виконується з використанням гнучких алгоритмів. Їх модифікація не потребує змін структури внутрішньої частини систем, а до зміни лише програмних математичних комплексів.

В основі управління приладової АЕ системи, включаючи і обробку даних, лежить формування і передача інформаційних потоків (ІП). Вони розділяються за призначенням і направленням передачі. Групи ІП в різноманітних поєднаннях формуються в програмному середовищі, при проведенні короткочасних і довготривалих випробувань. В той же час, наявність базових елементів систем (рис.9) дозволяє формувати принципи

управління системою при проведенні короткочасних та довготривалих випробувань. Відмінність логіки управління для довготривалих випробувань – обробка результатів вимірювань в реальному масштабі часу.

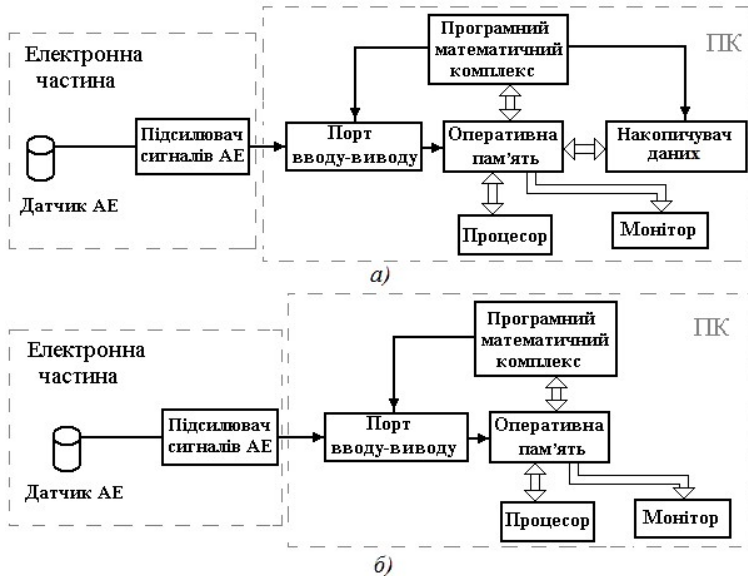


Рис.9. Структури приладових АЕ системи при: а) проведенні короткочасних випробувань; б) проведенні довготривалих випробувань

Усі проведені вимірювання реалізуються з використанням ПБВ, який перетворює аналогову інформацію в цифровий код. Результат кожного вимірювання характеризується амплітудно-часовими параметрами - амплітуда в вольтах і тривалість в мікросекундах, що визначається чутливістю ПБВ на одиницю молодшого розряду і частотою дискретизації вхідного сигналу. Розроблено методику та програмне забезпечення для калібрування, що дозволяє визначити параметри системи по чутливості на одиницю молодшого розряду і інтервалу дискретизації. Результат статистичної обробки експериментальних даних з калібрування показали, що максимальна помилка визначення дійсного значення чутливості на одиницю молодшого розряду і інтервалу дискретизації для ймовірності 0,997 не перевищує  $\pm 0,06\% \pm 0,24\%$ , відповідно.

## ВИСНОВКИ

1. Вперше розроблена модель результуючого сигналу АЕ, що формується при механічному навантаженні поверхневих шарів матеріалів, і враховує напружено-деформований стан поверхонь контактної взаємодії та швидкості розвитку руйнування вторинних структур І та ІІ типів.



2. Встановлено, що зі зменшенням часу початку руйнування вторинних структур I та II типів відбувається стиснення результуючого сигналу в часі, а зі збільшенням напружено-деформованого стану спостерігається зростання середнього рівня його амплітуди та величини розкиду. При цьому верхнє значення границі розкиду амплітуди результуючого сигналу визначається амплітудами сигналів АЕ, що виникають при руйнуванні вторинних структур II типу, а нижній її рівень – амплітудами сигналів, що виникають при руйнуванні вторинних структур I типу.

3. Встановлено, що для стадії нормального стану деталі, середня амплітуда результуючого сигналу АЕ описується лінійною функцією в часі. При переході до стадії катастрофічного стану деталей залежність зміни середньої амплітуди результуючого сигналу АЕ в часі описується степеневою функцією, зростання значення показника степеню якої обумовлено зростанням інтенсивності зносу.

4. Визначено, що зі збільшенням об'єму матеріалу, який вступив в пластичну деформацію та площі руйнувань вторинних структур I та II типів, спостерігається різке зростання амплітуди результуючого сигналу АЕ та зменшення величини її розкиду, що призводить до зростання значення показника степеню апроксимуючого виразу.

5. Розроблений метод вимірювання контактних напружень у фрикційних вузлах за сигналами АЕ, заснований на встановленому взаємозв'язку середнього рівня результуючого сигналу АЕ з величиною контактних напружень, в умовах експлуатації.

6. Розроблені концепції побудови, технічні та програмні засоби приладової АЕ системи вимірювання, обробки, аналізу АЕ інформації та виводу його результатів.

7. Створено ряд методик для довготривалих та короткочасних випробувань фрикційних вузлів з використанням обробки сигналів АЕ, а також методику калібрування приладової АЕ системи.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Бабак В.П. Моделі сигналів акустичної емісії при руйнуванні поверхневих шарів пар тертя / В.П. Бабак, С.Ф. Філоненко, В.М. Стадниченко, А.П. Стахова // Проблеми тертя та зношування. - 2007. - Вип.47. - С. 3-8. *Здобувачем проведено математичний опис сигналів АЕ, які формуються при руйнуванні вторинних структур I та II типу.*

2. Філоненко С.Ф. Моделирование сигналов акустической эмиссии при переходе от стадии нормального к стадии катастрофического изнашивания / С.Ф. Філоненко, А.П. Стахова // Технологические системы. - 2007. - №4(40). - С. 41-47. *Особисто здобувачем проведено моделювання та отримані результати моделювання сигналів АЕ при переході від стадії нормального до стадії катастрофічного зношування.*

3. Филоненко С.Ф. Моделирование сигналов акустической эмиссии при изменении объема материала, вступившего в пластическую деформацию / С.Ф. Филоненко, А.П. Стахова, В.Г. Кравченко // Технологические системы. - 2008. - №1(41). - С.22-27. *Особисто здобувачем проведено моделювання та отримані результати моделювання сигналів АЕ при зміні об'єму матеріалу, що вступив в пластичну деформацію.*

4. Filonenko S.F. Modeling of the acoustic emission signals for the case of material's surface layers distraction in the process of friction / S.F. Filonenko, A.P. Stakhova, T.N. Kositskaya // Proceedings of NAU. - 2008. - №2. - С.28-34. *Особисто здобувачем проведено моделювання та отримані результати моделювання сигналів АЕ при нормальному зношуванні поверхневих шарів матеріалів з урахуванням впливових факторів.*

5. Филоненко С.Ф. Акусто-эмиссионная система диагностики узлов трения / С.Ф. Филоненко, А.П. Стахова // Технологические системы. - 2008. - № 3(43). - С. 26-32. *Особисто здобувачем розроблена концепція побудови АЕ системи з розподіленою нарощуваною структурою, а також алгоритми її роботи.*

6. Filonenko S.F. Modelling of acoustic emission signals at friction of materials' surface layers / S.F. Filonenko, V.M. Stadnychenko, A.P. Stakhova // Aviation. - 2008. - V.12. - №3. - P. 87-94. (Іноземне видання). *Особисто здобувачем проведено математичний опис сигналів АЕ, та закономірностей зміни їх параметрів.*

7. Німченко Т.В. Моделювання апаратури ІВС для реєстрації неперервної акустичної емісії / Т.В. Німченко, А.П. Стахова // Електроніка та системи управління. - 2007. - №4(14). - С. 110-113.

8. Filonenko S.F. Definition of contact stress in friction units on the basis of the acoustic emission method application / S.F. Filonenko, V.M. Stadnychenko, A.P. Stakhova // Aviation. - 2009. - V. 13. - №. 3. - P. 72-77. (Іноземне видання). *Особисто здобувачем отримана залежність зміни середньої амплітуди результуючого сигналу АЕ від величини контактних напружень.*

9. Німченко Т.В. Сучасні апаратні та програмні засоби для дослідження сигналів акустичної емісії / Т.В. Німченко, А.П. Стахова // Наука та молодь. - 2009. - №9. - С. 84-87. *Особисто здобувачем описані апаратні та програмні засоби для реєстрації сигналів акустичної емісії.*

10. Стахова А.П. Система неруйнівного контролю методом акустичної емісії для статичних та динамічних видів випробувань / А.П. Стахова // Вісник Інженерної академії України. – 2015. – №4. – С. 127-129.

11. Стахова А.П. Результати моделювання сигналів акустичної емісії при руйнуванні поверхневих шарів матеріалів з протіканням пластичної деформації / А.П. Стахова // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. - 2016. - №1. - С. 41-44. (Включено до наукометричної бази Index Copernicus).

12. Стахова А.П. Інформаційно-вимірювальна система для визначення інформативних параметрів методом акустичної емісії / А.П. Стахова // Збірник наукових праць ОДАТРА. - 2016. - №1(8). - С. 69-72.

13. Патент на корисну модель № 34919 Україна, МКП G01N 29/04, 3/56. Спосіб визначення контактного навантаження в фрикційних вузлах в момент виникнення заїдання / Філоненко С.Ф., Стахова А.П., Кравченко В.Г., Стадниченко В.М. - № u200804250; заявл. 04.04.08; опубл. 26.08.08, Бюл. №16. *Особисто здобувачем проведено статистичну обробку експериментальних даних та отримана залежність зміни середньої амплітуди результуючого сигналу акустичної емісії та сигналів на виході тензодатчика від величини контактних напружень.*

14. Filonenko S.F. The modeling of acoustic emission radiation at normal wear/ S.F. Filonenko, V.N. Stadnychenko, A.P. Stakhova // AVIATION IN THE XXI-st CENTURY. Safety in aviation and space technology: the third world congress: proceedings, September 22-24, 2008. - К., 2008. - V.1. - P. 2.1-2.8. *Особисто здобувачем описано методику проведення випробувань на задиростійкість вузлів тертя.*

15. Стахова А.П. Взаимосвязь сигналов акустической эмиссии с напряженно-деформированным состоянием узлов трения / А.П. Стахова // АВИА-2009: VII міжнар. наук.-техн. конф., 21-23 верес. 2009 р.: тези доп. - К., 2009. - Т.1. - С. 1.1-1.4.

16. Filonenko S.F. Research of influence of thermal resistance of elements of trybosystem on wearproofness of friction units / S.F. Filonenko, V.N. Stadnychenko, A.P. Stakhova // AVIATION IN THE XXI-st CENTURY. Safety in aviation and space technology: the forth world congress: proceedings, September 21-23, 2010. - К., 2010. - V.1. - P. 12.1-12.4. *Особисто здобувачем отримані закономірності акусто-емісійного випромінювання при нормальному зношуванні поверхневих шарів матеріалів.*

17. Стахова А.П. Проведення теоретичних і експериментальних досліджень для встановлення закономірностей зміни акусто-емісійного випромінювання / А.П. Стахова // Наукоємні технології: наук.-техн. конф., 15-19 листоп. 2011 р.: тези доп. - К., 2011. - С. 48.

18. Стадниченко В.М. Акустическая эмиссия при исследовании эффективности трибовостанавливающих составов / В.М. Стадниченко, А.П. Стахова // АВИА-2011: IX міжнар. наук.-техн. конф., 19-21 квіт. 2011 р.: тези доп. - К., 2011. - Т.1. - С. 1.19-1.22. *Особисто здобувачем проведено обробку сигналів акустичної емісії при дослідженні величини прикладеного навантаження.*

19. Стахова А.П. Акусто-эмиссионная система с раздельной реализацией процедур кратковременных и длительных испытаний для исследования процессов трения / А.П. Стахова // Методы та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання: 5-а наук.-практ. конф., 24-25 листоп. 2015 р.: тези доп. - Івано-Франківськ, 2015. - С. 194-195.

20. Стахова А.П. Визначення закономірностей акусто-емісійного випромінювання при моделюванні результуючого сигналу акустичної емісії /

А.П. Стахова // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: VI міжнар. наук.-практ. конф., 26-29 квіт. 2016 р.: тези доп. - Чернігів, 2016. - С. 312-314.

### АНОТАЦІЯ

**Стахова А.П. Приладова система для вимірювання механічних напружень на основі явища акустичної емісії.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.01 – прилади та методи вимірювання механічних величин. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України, Київ, 2017.

Дисертація присвячена розробці методу, апаратних та програмних засобів приладової акусто-емісійної системи в процесі експлуатації.

Розроблена математична модель результуючого сигналу АЕ. Проведено моделювання, встановлено, що середня амплітуда результуючого сигналу АЕ на стадії нормального зношування, описується лінійною функцією в часі. При переході до стадії катастрофічного зношування залежність зміни в часі описується степеневою функцією. Визначено, що із збільшенням об'єму матеріалу що вступив в пластичну деформацію і площі локальних руйнувань спостерігається різке зростання амплітуди результуючого сигналу АЕ і зменшення величини її розкиду.

Розроблений метод визначення контактних напружень по сигналам АЕ, заснований на встановленому взаємозв'язку середнього рівня результуючого сигналу АЕ з величиною контактних напружень. Розроблена концепція побудови приладової АЕ системи. Пріоритетність програмного забезпечення дозволило реалізувати процедури короточасних і тривалих випробувань.

Створена приладова система і програмний математичний комплекс для збору, зберігання, оперативної обробки і аналізу сигналів АЕ при механічних навантаженнях.

**Ключові слова:** напружено-деформований стан, механічне навантаження, механічні величини, приладова система, пластична деформація.

### АННОТАЦИЯ

**Стахова А.П. Приборная система для измерения механических напряжений на основе явления акустической эмиссии.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 – приборы и методы измерения механических величин. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского» МОН Украины, Киев, 2017.

Диссертация посвящена разработке метода, аппаратных и программных средств приборной акусто-эмиссионной системы в процессе эксплуатации для своевременного обнаружения повреждений.

Разработана математическая модель результирующего сигнала АЭ, формируемого при изнашивании поверхностных слоев материалов узлов трения, которая учитывает напряженно-деформированное состояние поверхностей контактного взаимодействия и скорости развития разрушения вторичных структур I и II типа. При этом базировались на учете реальных процессов, развивающихся в структуре материалов, таких как образование и рост трещин, а так же протекание пластической деформации. При заданных физико-механических характеристиках материалов, постоянстве размера площадки фрикционного контакта результирующий сигнал АЭ определяется начальным напряженно-деформированным состоянием и временем начала разрушения вторичных структур I и II типа. Проведенное моделирование результирующего сигнала АЭ на стадии нормального изнашивания показало, что с уменьшением времени начала разрушения вторичных структур I и II типа происходит сжатие результирующего сигнала во времени, а с увеличением напряженно-деформированного состояния наблюдается возрастание среднего уровня его амплитуды и величины разброса. Проведенное моделирование результирующего сигнала АЭ при переходе со стадии нормального к стадии катастрофического изнашивания показало, что на стадии нормального изнашивания, средняя амплитуда результирующего сигнала АЭ описывается линейной функцией во времени. При переходе к стадии катастрофического износа зависимость изменения средней амплитуды результирующего сигнала АЭ во времени описывается степенной функцией. Определено, что с увеличением объема материала, вступившего в пластическую деформацию и площади локальных разрушений на стадии катастрофического изнашивания, наблюдается резкое возрастание амплитуды результирующего сигнала АЭ и уменьшению величины её разброса, что приводит к возрастанию значения показателя степени аппроксимирующего выражения.

Разработан метод определения контактных напряжений в узлах трения по сигналам АЭ, основанный на установленной взаимосвязи среднего уровня результирующего сигнала АЭ с величиной контактных напряжений, что обеспечивает повышение достоверности диагностики объекта в условиях эксплуатации. Разработана концепция построения АЭ системы для диагностики объектов, в основе которой лежит формирование распределенных структур с различными принципами хранения сигналов АЭ и методами их обработки, что определяется различием решаемых задач (кратковременные и длительные испытания). При этом использование средств технологии LabCard позволило распределить функции между элементами систем с минимизацией электронных и максимальным использованием гибких программных средств. Наличие единых программно доступных устройств внутренней части систем обеспечивает возможность формировать единые алгоритмы управления, в основе которых лежит формирование и передача информационных потоков. Структура и

назначение последних определяется назначением и задачами управления, в соответствии с концептуальной частью систем. В тоже время, наличие единых устройств внутренней части систем, и приоритетность программного обеспечения позволяют реализовать в единой системе процедуры кратковременных и длительных испытаний.

Создана мобильная система и программный математический комплекс для сбора, хранения, оперативной обработки и вывода результатов анализа сигналов АЭ при механических нагружениях. Создана методика для проведения длительных и кратковременных испытаний с использованием обработки сигналов АЭ.

**Ключевые слова:** напряженно-деформированное состояние, механическое нагружение, механические величины, приборная система, пластическая деформация.

## ABSTRACT

**Stakhova A.P. The instrument system for measuring mechanical stresses based on the phenomenon of acoustic emission.** - Manuscript.

Thesis for the Candidate of Technics grade in the Specialty 05.11.01 – Instruments and methods for measuring mechanical quantities. - National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kiev, 2017.

The thesis is dedicated to the development of the method, hardware and software for acoustic-emission instrument system in service.

The model of resulting acoustic emission signal is built. Are determined the regularity change of its parameters at operating external factors at the stage of normal and disastrous wearing. At transition from stage on stage, and as at the prevailing gear of surface layers destruction of stuffs with their mathematical description. Are determined of experimental regularity change of AE parameters with allowance for operating of external factors. Is determined, that connection between load and average level of acoustic emission signal amplitude are described by a degree function.

There are created a instrument system and mathematical software package for the collection, storage, processing operations and output the results of the AE signal analysis under mechanical loading.

**Keywords:** stress-strain state, mechanical loading, mechanical quantities, instrument system, plastic deformation.